継続歯合釘に関する研究

第1報 合釘の撓み強さについて

花 村 典 之

Studies on Dowel

Part 1 Resilience of Dowel

Noriyuki Hanamura

I 緒 言

継続歯の保持力と関係ある主な因子として、第1に保持形態としての合釘の長さ及び形態、第2に歯質の破折に対する抵抗力、第3に合釘用金属の機械的強度、第4に合釘及び根面板の歯根に対する適合度の4者が考えられるが、第1報¹⁾において著者は合釘用合金の撓み強さについて検討を行なった。今回は第2報として合釘の長さ、テーパー等の保持形態及び、適合度、すなわち着後のセメント層の厚さの保持力に対する影響を検討するため、継続歯合釘を金属模型にセメント合着し、引き抜き試験を行なってみた。

セメントづけされた歯冠補綴物あるいは充填物の保持力は、第1に支台または窩洞の保持形態、第2にセメントの強度、第3に合着面の性質の3者が関係するものと考えられ、第1の保持形態に関しては、インレーまたは金属冠についての報告はあつても、継続歯形態についての研究はまだ行なわれておらず、臨床上、また教育上の基準も与えられていない。

著者は継続歯合釘に相当する長さ3種、テーパー4種の金属歯型を作り、これをオス型とし、メス型には、この合釘金属模型とすり合せを行なった金属歯型をもち、セメント合着後、Schopper 型引張り試験機で荷重を加え、テーパーの強さ、合釘の長さとし引き抜きに対する抵抗性を求めた。

セメント層の厚さは30 μ 及び60 μ の2種としたが、従来よりセメントの保持機構として嵌合効力が考えら

れ、これはセメントの薄膜度と圧縮強さに関係するものとされている。そこで著者は予備実験として、さらにセメントの圧縮強さを測定することにしたが、一方、嵌合効力と直接に関係するものはせん断強さであるとの考え方があり、セメントについてはいまだせん断強さに関する報告が行なわれていないので、特にこのための測定装置を考案してこれを検討することとした。

II 歯科用セメントの圧縮強さおよびせん断強さについて

セメントの嵌合効力は、インレー、又は歯冠補綴物を離脱せしめる外力と平行なセメント層においてあらわれるもので、セメントが破壊されたとき離脱がおこるものと考えられている。このような力は当然せん断応力であるから、これに対する抵抗力を知るにはセメントのせん断強さを測定する必要がある。

従来よりセメントの強さとしては圧縮強さについて極めて精細な研究が行なわれているが、せん断強さは全く明らかにされていないので、著者は合釘のセメントづけ試験を行なう前に予備実験として各種セメントの圧縮強さ、及びせん断強さを測定し、両者の関係をも検討することとした。

1. 試料

試料は国産品として燐酸セメント3社、4種類、硅酸セメント2社、2種類、硅燐酸セメント1社、1種類、仮封セメント2社、2種類、レジシセメント1種類を使用し、外国製セメントとして燐酸、硅酸1社、各1種類、合計5社、12種類のセメントについて実験を行なった。

なお、実験に供した色はレジシセメントを除き、Light Yellow またはその当該色調のものを使用した。

2. 試験片ならびに試験方法

Department of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University (Director: Prof. Toshiro Ishiware)

東京医科歯科大学補綴学教室 (指導 石原寿郎教授)

1) 圧縮強さ

試験片

圧縮強さの測定は、A.D.A.規格²⁾にほぼ従った。試験片は直径6mm、長さ12mmの円柱状で図1に示す真鍮

図1 試験片 左：圧縮強さ測定用試験片
右：せん断強さ測定用試験片

製の割り型に薄くシリコンオイルを塗布し、セメント泥を少し多めに流し込み、ガラス板で両面を押え、その後これを30分間37°C、相対湿度100%の恒温槽に入れ、両面を研磨し、割り型より取り出し、再び恒温槽内に24時間入れた後、測定を行なった。

セメントの稠度、練和時間、及び術式はメーカーの指示書に従い、指示のないものについては5人の歯科医に

表1 歯科用セメントの圧縮強さ、せん断強さ及び稠度

セメント種類	試料番号	液cc/ 粉末g	圧縮強さ 24時間後 kg/cm ²	せん断強さ 24時間後 kg/cm ²	気温 °C	相対湿度 %
磷酸セメント	1	0.36	1440	211	24	72
	2	0.31	1570	229	24	72
	3	0.20	1150	183	24	72
	4	0.33	910	140	24	72
	5	0.38	920	118	20	62
硅セメント	6	0.29	1890	314	24	64
	7	0.27	1260	218	22	64
	8	0.27	1850	297	20	62
硅セト 燐メ 酸	9	0.38	1670	284	24	74
仮メ 封セ ト	10	0.28	450	88	23	72
	11	0.28	470	119	21	62
レセト ジメ ン	12	0.60	1080	280	19	62

練和を依頼し、その最大、最小を除いた3者の平均値を標準稠度とした。セメント練和時の室温はA.D.A.規格²⁾内の19°C~24°C、湿度は62%~72%とした。(表1)

圧縮強さの測定法

試験片を碎頭速度0.5mm/minをもつ最大荷重1000kgの桿杆式圧縮試験機にかけて圧縮強さを測定した。

圧縮強さの測定には、A.D.A.規格²⁾によると磷酸セメントが7日、硅酸セメントが1日、水中浸漬後行なうと記されているが、ここでは37°C、100%相対湿度の条件下に24時間放置後測定を行なった。

2) せん断強さ

試験片

直径5mm、長さ20mmの円柱とし、図1に示す金型にセメント泥を注入し、硬化後押し出して試験片を作った。圧縮試験の場合のごとく割り型とするとバリを生じ装置に挿入するのが困難となるのでこれを防ぐため、割り型は用いながった。金型にはセメントを取り出し易いようにクロームメッキをほどこし、かつ、シリコンオイルを一層塗布した。

試験片製作時のセメントの稠度、練和時間、術式、及び測定に供するまでの条件などは圧縮強さ測定用と同一である。

せん断強さの測定法

金型から取り出した試験片を図2に示すようにL字型

図2 せん断強さ測定用器具(分解した所)

を組合せた形の金型に挿入し、曲げの力が加わらぬようにして、これをSchopper型引張り試験機にかけ、引張り速度約0.5mm/minで衝撃の加わらぬよう徐々に加重した。せん断時の単位面積当りの荷重をセメントのせん断強さとして記載した。図3はせん断強さ測定器具の原理を示す。

3. 試験結果

1) 圧縮強さ

磷酸、硅酸セメント共に硬化24時間後に測定を行な

図3 セン断強さ測定器具の原理

い、表1に見られるごとく 燐酸セメントでは $910 \sim 1570 \text{ kg/cm}^2$ 、硅酸セメントでは $1260 \sim 1890 \text{ kg/cm}^2$ であつた。A.D.A. 及び JIS 規格では、燐酸セメントが7日後の測定で 840 kg/cm^2 以上、硅酸セメントは24時間後で 1620 kg/cm^2 以上の圧縮強さが要求されているが、本研究の結果はこれを大体満していることがわかつた。仮封セメントは 450 kg/cm^2 と 470 kg/cm^2 で燐酸セメントの $1/3$ 程度の圧縮強さを示し、レジンセメントは 1080 kg/cm^2 であつた。

2) セン断強さ

表1に平均値を示すが、最高としては硅酸セメントに 314 kg/cm^2 を示すものがあり、最低値は仮封セメントの 88 kg/cm^2 であつた。合着用の燐酸セメントは $118 \text{ kg/cm}^2 \sim 229 \text{ kg/cm}^2$ の間で両者の中間の値を示した。

3) 圧縮強さとセン断強さとの関係

この圧縮強さとセン断強さをそれぞれ横軸、縦軸にと

り、表わしたのが図4である。

このグラフから圧縮強さとセン断強さの間には極めて密接な関係があると考えられるので、燐酸セメント及び硅酸セメントについてそれぞれ相関係数(r)⁹⁾を求めた。

その結果、燐酸セメント5種で $r=0.97$ 、硅酸セメント3種類及び硅燐酸セメント1種類計4種類で $r=0.99$ となり、共に $r=1$ に極めて近く、標準稠度における圧縮強さとセン断強さは直線的な相関々係にあるといえる。

また、燐酸セメントNo. 1～No. 5、硅酸セメントNo. 6～No. 9について回帰直線を求めてみると、

$$\text{燐酸セメント } y=0.15x-3.4$$

$$\text{硅酸セメント } y=0.14x+37.4 \text{ となる。}$$

これらの結果から燐酸セメント、硅酸セメントは圧縮強さからほぼ正確にセン断強さを算出することが出来ることがわかつた。

III 合釘金属模型による引き抜き試験

支台歯にセメント合着した継続歯の合釘は、これを引き抜く力に対し、どの程度の抵抗を示すか、また、この際合釘の長さ、テーパーの強さ、及びセメント層の厚さなどがこれに対してどのような影響を与えるかを知るため、金属模型による実験を試みた。天然歯支台について引き抜き試験を行なつた方がより実際に近い値となるが一方、試料の精度及び、実際装置との関係から、天然歯を用いることは困難なので金属歯型により、長さ、テー

図4 歯科用セメントの圧縮強さとセン断強さの相関関係
(図中の数字は表1の試料番号)

パー等に対する相対的な値を求めることとした。

1. 試験器具及び試験方法

1) 金属模型

合釘模型

合釘模型の金属棒の長さは、上顎中切歯、側切歯、犬歯の歯根長、及び合釘に対する臨床的基準平均値^{4,5)}を参考とし、10 mm、8 mm、5 mm の3種とし、テーパーは0 テーパー、 $\frac{1}{20}$ テーパー、 $\frac{1}{10}$ テーパー、 $\frac{1}{5}$ テーパーの4種類、合計12組とし、試験器具の製作は顕微鏡工場に依頼し、真鍮を用いせん盤により製作した。表面はクロームメッキを行なった。(図5)

図5 継続歯合釘の金属模型

合釘の直径は最大径が2.0 mm、但しテーパー $\frac{1}{5}$ で10 mm、8 mm のものは、合釘先端が1.0 mm 以下となり製作加工が困難になるため合釘の歯頸部最大直径を特に3.0 mm とした。

製作された合釘の精度は、まず万能拡大投影器により合釘が楕型になっていないかの検査を行ない、その後 $\frac{1}{100}$ mm 精度のコンパレーターで直径、合釘長を測定した。測定結果は表2、3に示す。

支台模型

これは合釘に適する真鍮製メス型で、合釘と完全にすり合せを行なった後、3号のクロームメッキを施した

表2 セメント層30 μ の際の合釘長、直径、軸面表面積

テー パー	合釘長 mm	最小直径 mm	最大直径 mm	合釘長 mm	表面積 mm ²
0	10	1.95	1.95	9.92	60.64
	8	1.95	1.95	8.05	49.39
	5	1.97	1.97	4.90	30.33
$\frac{1}{20}$	10	1.48	2.05	10.01	55.48
	8	1.68	2.08	8.08	47.67
	5	1.73	2.04	5.28	31.17
$\frac{1}{10}$	10	0.91	2.01	10.05	46.06
	8	1.15	1.99	8.10	40.02
	5	1.54	2.06	5.06	28.73
$\frac{1}{5}$	10	1.04	3.02	9.92	63.47
	8	1.39	2.96	7.90	54.21
	5	1.06	1.99	4.89	23.56

表3 セメント層60 μ の際の合釘長、直径、軸面表面積

テー パー	合釘長 mm	最小直径 mm	最大直径 mm	合釘長 mm	表面積 mm ²
0	10	1.94	1.94	9.92	60.55
	8	1.94	1.94	8.05	49.06
	5	1.96	1.96	4.90	30.16
$\frac{1}{20}$	10	1.48	1.98	8.94	48.67
	8	1.68	2.02	6.89	40.00
	5	1.73	1.98	4.26	24.68
$\frac{1}{10}$	10	0.91	1.94	9.45	42.37
	8	1.15	1.93	7.43	35.82
	5	1.54	1.99	4.43	24.66
$\frac{1}{5}$	10	1.04	2.98	9.71	61.51
	8	1.39	2.92	7.70	52.47
	5	1.06	1.96	4.69	22.64

ものである、これをセメント合着するとき、両者の間のセメント層を規定するため、オス、メスの金属歯型に毛書き線を入れて基線とし、セメント層30 μ 及び60 μ に対応する距離を算出しておき、これを基準にしてセメント合着を行なうようにした。また、つねに同じ位置で合着するように合釘の軸に平行したピンを立て、位置を規定した。

なお、この金属模型を引張り試験機に装着するため図6に示すようなL字型のチャックを作り、これに各々1個所ずつ、自由に廻転できる関節をつけて装着の際の軸のずれ、またそれによる不均衡な力の加わることを防い

図 6 継続歯合釘金属模型と
引つ張り用のチャック

だ。

2) セメント合着

合釘及び支台の金型をよくベンジンで清掃乾燥し、通法により標準稠度に練和したセメントで合着した。この際、セメント層が 30μ または 60μ になるように毛書き線をみながらコンパレーター上でその間隔を規定した。

この方法により正当なセメント層が確保されたか否かを調べるため、1例につきこれを透明なエポキシレジンで包埋して断面を作り、各部のセメント層の厚さを測定したが、予期した通りの結果を得た。すなわち、 $1/20$ テーパー長さ 10 mm の合着断面をみると図7のごとく平行性、間隔共に良好とみなされ、セメント層は $28\mu \sim 34\mu$ の間にはば一定に保たれていた。

なお、合着に使用したセメントは、圧縮強さ 1440 kg/cm^2 であった。

3) 引き抜き試験

合着後 37°C 100% 相対湿度の恒温槽に入れ、24時間経過後、最大荷重 100 kg の Schopper 型引張り試験機でそれぞれ15回引き抜き試験を行なった。

なお引き抜きの速度はセメントのせん断強さ測定時と同様に約 0.5 mm/min とし、引き抜けた時の荷重をその合釘の保持力とした。

2. セメント層 30μ における保持力

図 7 金属模型を 30μ の隙間でセメント
合着した後の断面

表 4 セメント層 30μ の際の保持力

テーパー	合釘長 mm	保持力 (標準偏差) kg	表面積 mm^2	単位面積当 りの保持力 kg/mm^2
0	10	82.2(14.0)	60.64	1.35
	8	58.5(21.7)	49.39	1.18
	5	35.1(9.9)	30.33	1.16
$1/20$	10	37.5(3.9)	55.48	0.67
	8	30.3(4.8)	47.67	0.64
	5	20.9(3.9)	31.17	0.67
$1/10$	10	29.9(4.5)	46.06	0.65
	8	24.1(4.7)	40.02	0.60
	5	17.8(4.1)	28.37	0.62
$1/5$	10	32.8(5.6)	63.47	0.52
	8	25.0(5.2)	54.21	0.46
	5	15.5(3.6)	23.56	0.66

測定された保持力の平均値は表4に示す。括弧内の数字は標準偏差を表わしている。

1) 合釘の長さとは保持力との関係

いずれのテーパーにおいても合釘の長さには比例して保持力は増加するが、0テーパーにおいては増加率が最も大きく、合釘長が 5 mm から 10 mm と2倍になると保持力は 35 kg から 82 kg と2倍以上となる。これに対しテーパーが大となるに従つて、全体としての保持力が低下すると共に、長さの増大による保持力の増加率も減少し、図8のグラフに示すごとく合釘テーパーと保持力の関係を示す直線の傾斜が緩かとなる。但し、 $1/5$ テーパー

図 8 合釘長と保持力との関係
(セメント層 30 μ)

の場合は合釘長 10 mm, 8 mm では図 8 の○印で示す値となるが、最大直径が 3.0 mm であるため原理的にこれを一つの直線として結ぶことが出来ない。そこで次項で述べる方法により計算値を求め、結果を×印で示し点線

図 9 合釘テーパと保持力との関係
(セメント層 30 μ)

で結んだ。

以上図 8 の 0, $1/20$, $1/10$, $1/5$ テーパーの直線の方程式は次のようになる。

$$0 \text{ テーパー} \quad y_0 = 9.3x - 12.7$$

$$1/20 \text{ テーパー} \quad y^{1/20} = 3.5x + 2.9$$

$$1/10 \text{ テーパー} \quad y^{1/10} = 2.4x + 5.6$$

$$1/5 \text{ テーパー} \quad y^{1/5} = 1.9x + 5.7$$

2) 合釘のテーパと保持力との関係

次に合釘長を一定としてテーパと保持力との関係をみるために表 4 から図 9 を製作した。前項で述べたように $1/5$ テーパーの合釘長 10 mm, 8 mm は太さが異なるのでグラフを結ぶことが出来ない。

そこで図 9 のグラフのテーパ 0, $1/20$, $1/10$ の 3 点から曲線の実験式を求め、これにより $1/5$ テーパーの 10 mm 8 mm の合釘最大直径を 2.0 mm にした時の保持力を求めることにした。

まず、図 9 の曲線を実験式⁶⁾ $f(x) = \frac{x}{a + bx} + c$ とおき、これに x, すなわち テーパー, を代入し保持力を求めた。

その結果は、

$$\text{合釘長 10 mm} \quad y_{10} = \frac{x}{-0.0131 - 0.0159x} + 82.2$$

$$\text{合釘長 8 mm} \quad y_8 = \frac{x}{-0.0253 - 0.0228x} + 58.5$$

$$\text{合釘長 5 mm} \quad y_5 = \frac{x}{-0.0503 - 0.0454x} + 35.1$$

以上、三式となる。この y_5 式に x として $1/5$ テーパーを代入すると $y_5 = 15.8$ となり、実測値は 15.5 kg と計算による推測値と 0.3 kg の差で、上式がほぼ成立することと思われる。

y_{10} , y_8 式より $1/5$ テーパーの 10 mm, 8 mm の推測値を計算すると $y_{10} = 25.2$ (kg), $y_8 = 19.9$ (kg) となり、図 9 に点線で示した状態となる。

これをみると合釘の長さに比例して保持力の絶対値は高くなるが、テーパと保持力との関係は合釘長が違っても大体類似した傾向を示し、テーパ $1/5$ から $1/10$ までは保持力の増加率は少なく、 $1/10$ をこえると急増しはじめことに $1/20$ 以上では著しく大きな値を示している。その増加率は合釘長の長い程大きく、 $1/5$ から 0 テーパーの間に合釘長 5 mm では約 2 倍、10 mm では 3 倍となる。

3) 合釘軸面の単位表面積あたりの保持力について

合釘軸面の表面積と保持力との関係は表 4 に示した。

単位面積あたりの保持力はテーパが同一であれば、ほぼ同じ値を示しているが、テーパが大になるに従って単位面積あたりの保持力は減少する傾向がある。合釘

長 10 mm を例にとると 0 テーパーでは 1.35 kg/mm^2 , $1/20$ テーパーでは 0.67 kg/mm^2 , $1/10$ テーパーでは 0.65 kg/mm^2 , $1/5$ テーパーでは 0.52 kg/mm^2 となる。これは図 8 で示されているごとくテーパーが増すにつれて直線が下方に移動し、かつ傾斜が緩やかなことから裏づけられる。

3. セメント層 60μ における保持力

本実験に使用した合釘金属歯型はセメント層 30μ の実験に使用したものと同じもので、基準線間の距離を測定し、合釘を更に浮かしてセメント合着することにより 60μ の隙間を得るようにした。そのため、セメント合着された合釘長が各組によつて異なることになった。

なお、0 テーパーのものについては新しい金型をセメント層 60μ になるように作り、実験を行なつた。セメント層 60μ の場合の合釘長、軸表面積は表 3 に示す。

セメント合着後 30μ の場合と同じ条件で合釘を引抜き、保持力を計測した。その結果は表 5 に示す。括弧内の数値は標準偏差を示す。

表 5 セメント層 60μ の際の保持力

テーパー	合釘長 mm	保持力 (標準偏差) kg	表面積 mm^2	単位面積当 りの保持力 kg/mm^2
0	10	70.4(7.4)	60.55	1.16
	8	60.5(8.1)	49.06	1.23
	5	37.0(9.3)	30.16	1.22
$1/20$	10	22.1(3.6)	48.67	0.45
	8	17.5(4.0)	40.00	0.44
	5	10.3(3.9)	24.68	0.42
$1/10$	10	21.9(4.2)	42.37	0.52
	8	17.1(4.1)	35.82	0.48
	5	10.6(3.5)	24.66	0.43
$1/5$	10	18.3(3.8)	61.51	0.29
	8	15.1(3.3)	52.47	0.29
	5	8.6(2.7)	22.64	0.38

1) 合釘の長さ と 保持力 と の 関 係

セメント厚 60μ における保持力は 0 テーパーでは、 30μ の場合とほとんど同じ数値、同じ傾向を示し、合釘の長さ と 保持力 と は 図 10 の グラフ で みる ごと く 直 線 的 関 係 に あり、その傾斜は、やや緩かになるが 30μ との間に有意の差があるとは考えられない。図 10 に示すごとく合釘の長さが 5 mm から 10 mm となると保持力は 37 kg から 70 kg と大体 2 倍の値となる。

テーパーが大となると保持力は一般に低下し、かつグラフの傾斜は緩かとなる点でも 30μ の場合と同様であ

図 10 合釘長と保持力との関係
(セメント層 60μ)

る。但し、セメント厚 60μ の保持力の低下が著しく、各テーパーともセメント厚 30μ $1/5$ テーパーにおける保持力より小さい値を示しかつテーパーによる差が極めて少なくなることが特色である。

なお、 $1/5$ テーパー、合釘長 10 mm, 8 mm は試料の歯頸部最大直径 30 mm で条件が異なるため、 30μ の場合と同様な補正を行なつたものを点線で記入してある。但

表 6 セメント層 60μ の合釘長 10, 8, 5, mm の換算値と $1/5$ テーパーの推測値

テーパー	合釘長 mm	計測値 kg	換算値 kg (推測値)
0	10	70.4	70.4
	8	60.5	60.5
	5	37.0	37.0
$1/20$	10	22.1	25.4
	8	17.5	20.0
	5	10.3	12.0
$1/10$	10	21.9	23.0
	8	17.1	18.5
	5	10.6	11.8
$1/5$	10	18.3	(22.2)
	8	15.1	(17.7)
	5	8.6	11.5

図 11 合釘テーパと保持力との関係
(セメント層 60 μ)

し、この場合、長さが異なるためまず図 10 から各テーパにおける回帰直線を求め、これから 10 mm, 8 mm, 5 mm に対する保持力を算出し(表 6)、次にこれを図 11 にあてはめる方法をとった。

2) 合釘のテーパと保持力との関係

図 10 から 各合釘長における テーパと保持力との関係を求めると図 11 のようになる。但し $1/5$ テーパにおける 10 mm, 8 mm の場合はセメント層 30 μ の場合と同様な補正を行なった。

図 11 によればセメント層 60 μ においても 30 μ の場合と大体似通った様相を示すが、特記すべきは、0 テーパの場合は保持力が 30 μ とほとんど相異がないことと、テーパをつけると $1/20$ テーパにおいて急激に保持力が低下し、更にテーパを増しても、ある程度の保持力の低下はあるが大きな変化はないということである。

すなわち、合釘のテーパが極めて少なければセメント層が 60 μ になっても保持力は低下しないが、テーパが少しでもあるとセメント層の厚さがその保持力に強く影響するということになる。

3) 合釘軸面の単位表面積あたりの保持力について

表 5 に示すように単位表面積あたりの保持力は 0 テーパではセメント層が 30 μ の場合 1.16~1.35 kg/mm² であったのに対し、60 μ では 1.16~1.23 kg/mm² であ

って大体同程度の値を示す。

合釘のテーパが大となると、単位面積あたりの保持力が低下する点もまた 30 μ の場合と同様であるが、その値は一般に 30 μ におけるより著しく低い。すなわち $1/20$ テーパではセメント層 30 μ が 0.64~0.67 kg/mm²、60 μ では 0.42~0.45 kg/mm²、 $1/10$ テーパでは 30 μ が 0.60~0.65 kg/mm²、60 μ が 0.43~0.52 kg/mm²、 $1/5$ テーパでは 30 μ が 0.46~0.66 kg/mm²、60 μ が 0.29~0.38 kg/mm² となつている。

この点からみても合釘の保持力におよぼすセメント層の厚さの影響は合釘にテーパのある場合にはつきりあらわれるものと考えられる。

IV 総括考案

歯冠補綴物またはインレーに対して保持力は最も重要欠くべからざる因子であり、保持力を高めることが臨床研究の一つの大きな目的となつている。この意味から従来よりインレー及び金属冠等⁷⁻¹⁰⁾の保持力についてはセメント合着後の引き抜き試験が行なわれ、ある程度の臨床的基準を与えている。しかし、継続歯の合釘に関しては、その保持力ということが他の補綴物に比べて一段と臨床的に重要視されているにもかかわらず、研究が行なわれておらず、临床上、教育上支障をきたしている。

本研究は継続歯合釘の保持形態について臨床的基準を求めることを主な目的として行なった。このため、まず予備実験としてセメントの合着力と関係する因子としてせん断強さを測定し、一方合釘の長さ、テーパ及びセメント層の厚さが保持力にいかん影響するかをセメント合着後の引き抜き試験により検討した。さらにせん断強さと関連づけたセメントの合着力自体についても若干の考察を加えた。

1. 歯料用セメントのせん断強さ

磷酸セメント、硅酸セメント、硅磷酸セメント、レジンセメント、仮封セメントを含む歯料用セメント 12 種類について、A. D. A. 規格試験法²⁾による圧縮強さを測定するとともに、著者の考案した装置によりせん断強さを測定した。従来からセメントの強さの基準としては常に圧縮強さが測定されて来たが、本実験のごとき引き抜き試験では神沢が指摘したごとくセメント層に対して主としてせん断応力が作用すると考えられる。一方セメントの合着機構として常に嵌合効力ということがあげられているが、これは当然、せん断的な力を前提とした考え方であるから保持力と関係づけて考察を行なうため、特にせん断強さを測定することにした。

その結果、両者の間には全く直線的な関係があり、 $r=1$ 、 x を圧縮強さ、 y をせん断強さとすれば

磷酸セメントでは $y=0.15x-3.4$

硅酸セメントでは $y=0.14x+37.4$

という関係となり、せん断強さは圧縮強さから算出し得ることがわかった。但し、この関係は A. D. A. 規格による圧縮強さの試験片と、直径 5mm の円柱のせん断強さ試験片についてのことであるが、混水比を変えた場合にもこの関係が成り立つことが証明され、さらに一般的にもこの関係は成立するものと考えられる。

2. 合釘の長さ と 保持力 と の 関係

セメント合着後これを軸方向に引き抜く力を保持力とすれば、これは合釘の長さ に比例して直線的に増加するが、長さの増加に対する保持力増加の割合は合釘のテーパーが大となるにつれて減少することが確認された。

セメント層 30 μ の場合、各テーパーにおいて、10mm 8mm、5mm。3種の合釘長の保持力の間に 1%以下の危険率で有意の差のあることは t 検定によつて確められた。(表 7)

表 7 各合釘長に対する保持力の差の (t) 検定 (セメント層 30 μ)

合釘長 mm \ テーパー	0	$1/20$	$1/10$	$1/5$
10	t=3.442 p<0.01	t=4.364 p<0.001	t=3.368 p<0.01	t=3.765 p<0.001
8	t=3.681 p<0.001	t=5.641 p<0.001	t=3.798 p<0.001	
5	t=10.294 p<0.001	t=11.095 p<0.001	t=7.465 p<0.001	
10				

長さによる保持力の増加は 0 テーパーにおいて最も著明で、5mm から 10mm 間で保持力は 2 倍以上となり合釘長 1mm 増しに対し 9.3kg の保持力の増加となるが、テーパー $1/20$ では 1.8 倍で 1mm あたり 3.5kg、テーパー $1/5$ では 1.3 倍で 1mm あたり 1.9kg の増加をきたすに過ぎない。

また、セメント層 60 μ では、0 テーパーにおいては 30 μ の場合とほとんど同様な結果を示し、テーパーのある場合もまた合釘長と保持力とは直線関係を示したが、ただ全体として 30 μ の場合に比し保持力は著しく劣り、かつ長さに対する保持力増加の割合は、合釘長 1

mm の増加につき 2.7~2.1kg となりかなり少なかった。

以上により合釘は長い程保持力がよいということになるが、今ここで前歯部の最大咬合力 20kg¹²⁾を基準とし、セメント層を 60 μ として大体の基準をたてれば 8mm が最低限となると思われる。

3. 合釘のテーパー と 保持力 と の 関係

0 テーパー、すなわちテーパーのない場合にどの合釘長においても最大の保持力が発揮され、テーパーが大となるに従つて保持力をも低下する。

しかし、テーパー $1/10$ と $1/5$ とでは大きな違いがなく、(表 8)、ことにセメント層 60 μ の場合はテーパーによ

表 8 各テーパーに対する保持力の差の (t) 検定 (セメント層 30 μ)

合釘長 mm \ テーパー	0	$1/20$	$1/10$	$1/5$
10	t=11.495 p<0.001	t=4.488 p<0.001		
8	t=4.765 p<0.001	t=3.436 p<0.01		
5	t=4.961 p<0.001	t=2.015 p<0.1	t=1.596 p<0.2	

る差が極めて少ない。保持力が急激に増加するのは 30 μ 60 μ とともにテーパーが $1/20$ より小さい場合である。従来から合釘のテーパーの標準として $1/20$ ということが常識的に考えられて来た¹³⁾。著者の成績からも、テーパー $1/10$ と $1/5$ では著しい差がなく、 $1/20$ 以上になつてはじめて保持力が急激に上昇してこれを裏づけており、臨床的にはこれを一つの基準とすべきであろう。

なお、Kaufman⁸⁾ 及び Jorgensen⁹⁾ も鑄造冠型模型についてテーパーが保持力と関係のあることを証明しているが、本実験の値のごとくテーパーの差により急激な保持力の増加する点のあることを指摘してはいない。

4. 合釘の単位表面積あたりの保持力について

合釘の軸方向単位表面積あたりの保持力については表 4、5 に示すごとくでセメント層 30 μ 、60 μ の共に、各テーパーにおける単位面積当りの保持力はほぼ一定値を示しており、またテーパーが強くなるにつれて単位面積当りの保持力が小さくなる。例えば、セメント層 30 μ の場合、0 テーパーでは単位面積当りの保持力は、1.35 kg/mm²、 $1/20$ で 0.67 kg/mm²、 $1/10$ で 0.65 kg/mm²、 $1/5$ で 0.52 kg/mm² となつている。これは Kaufman⁸⁾、Jorgensen⁹⁾ の結果にもみられる傾向である。特に Kaufman

の値は、著者の研究の結果とほぼ似た値を示している。

セメント層 60μ の 0 テーパーのものは 1.16 kg/mm^2 を示し、 30μ の場合と大差がないが、テーパーのある場合は $0.29\sim 0.52\text{ kg/mm}^2$ の値を示し、全体として 30μ の場合より低い、テーパーによる差はそれ程著明でない。

テーパーの大きさと単位面積当りの保持力の関係については Jorgensen⁹⁾ が次の式を上げている。

$(y-a)x=k$ y : 単位面積当りの保持力 (kg/mm^2)

x : テーパー

k, a : 常数

しかし、本実験結果には合致しない。

5. セメント層の厚さの影響

セメント層が 30μ と 60μ の場合で保持力にいかなる相異があるかを考察すると、まず 0 テーパーの場合は、 30μ において $35.1\sim 82.2\text{ kg}$ を示したのに対し、 60μ では $37.0\sim 70.4\text{ kg}$ であつて両者の差は t 検定の結果有意の差は認められなかった。

次にテーパーのある場合は保持力が全体として 60μ の方が 30μ に比して著しく低く、各テーパーとも 60μ では 30μ の $1/3$ テーパー以下の値となる。今一つ注意をひいたことは、 30μ の場合は、テーパーの増加に比例して保持力が低下する傾向がみられたが、 60μ ではこの傾向がはつきりしないということである。

以上の成績からみて、テーパーのある場合は明らかに 30μ の方が保持力は優れていることになる。

6. セメント合着機構に関する考察

従来よりセメント合着力は嵌合効力にあるという Bödecker¹⁴⁾ の考え方が一般に認められており、これに関し Paffenbarger¹⁵⁾、Swartz¹⁶⁾ のごとく合着力を認めないもの、総山ら¹⁷⁾ のように嵌合効力と接着力の両者が作用するものとして、その比率を測定したものなどがある。嵌合効力とはセメントが歯面または金属面の細かい凸凹に嵌入し、合着面と平行な方向に作用する力に抵抗することを意味し、セメントの破壊によつて嵌合効力が失われるものとした。この点から嵌合効力と関係する因子はセメントの強さと、薄膜度とされ、強さとしては圧縮強さが常に測定された。

これに対し神沢¹³⁾ は嵌合効力に相当するセメントの強さはせん断強さであることを指摘しており、著者はこれに従つて、セメントのせん断強さを新しい装置により測定したので、その結果から合着力が考察してみることにする。

1) せん断強さとセメントの合着力との関係

純粋に嵌合効力だけが期待出来るのはテーパー 0 の

場合に限るのでこれについて考察すると、本実験に用いたセメントのせん断強さは 2.11 kg/mm^2 であり、0 テーパー合釘の単位面積当りの保持力は 30μ 厚で $1.16\sim 1.35\text{ kg/mm}^2$ 、 60μ 厚で $1.16\sim 1.23\text{ kg/mm}^2$ であつた。従つて保持力はせん断強さの約半分ということになる。

もし図 12 A または B の線でセメントがせん断される

図 12 せん断部位とせん断面積の関係

とすれば、せん断される面積は合着面積にひとしいから保持力はせん断強さと一致しなければならないが、嵌合状態を図 12 C のような状態と考えれば嵌合する部分は凸凹相半ばし、せん断される部分は合着面積の半分ということになる。實際上、せん断される部分がどのようになっているか明らかでないが、少なくともせん断強さは嵌合効力の最大値を示し、表面の凸凹の状態によつてその $1/2$ 程度となり得るものと考えられる。

本研究におけるセメント合着面は真鍮をせん盤仕上げによりすり合せ、この面をそこなぬよう 3 号のクロームメッキを行ない、15~16 回の予備的セメント合着引き抜きにより一定した値を得ようになつた状態のものである。

いずれにせよせん断強さは直接セメントの合着力と関係する数値として注目すべきものではないかと考えられる。

2) 合着力に対するテーパーの影響

本研究の結果、合釘にテーパーをつけると保持力は著しく低下し、単位面積あたりテーパー $1/20$ で $0.64\sim 0.67\text{ kg/mm}^2$ 、 $1/10$ で $0.60\sim 0.65\text{ kg/mm}^2$ 、 $1/5$ で $0.46\sim 0.66\text{ kg/mm}^2$ となる。これは純粋な嵌合効力の発揮される 0 テーパーの場合に比し $1/2$ 以下の値である。

もし、合釘にテーパーのある場合もそのテーパーに沿った嵌合効力によつて保持力が発揮されるものとするれば $1/20 \sim 1/5$ テーパー程度ではテーパー面に平行な分力は計算上、0 テーパーとあまりかわらぬ筈である。それにもかかわらずこのように著しい低下を来たすのはテーパー面に対して直角な分力が作用し、これがセメントの剝離を来たすためと思われる。そこで、テーパー $1/20$ 、 $1/10$ 、 $1/5$ の場合における合着面に直角な分力を考えると軸方向の力に比しそれぞれ、0.025、0.05、0.1 の割合となり、合釘長 10 mm の場合、實際上それぞれ 0.9 kg、1.5 kg、2.5 kg であつてセメントを剝離させる力は $1/20$ テーパーに比し $1/5$ テーパーは約 3 倍となる筈である。しかし、実測値で $1/20$ テーパーと $1/5$ テーパーとでは保持力にそのような大きな違いはない。従つてテーパーのある場合には単純な嵌合でもなく、また単純な剝離でもなく、両者が合着面の状態とテーパーに応じて様々な比率で組合せた結果があらわれるものと考えられる。

3) セメントの厚さの影響

本研究では、0 テーパーの場合はセメントの厚さ 30μ と 60μ とでは有意の差が認められなかつた。純粹な嵌合効力によつて保持力が発揮される場合はせん断強さが関係するためセメント厚 30μ 、 60μ 程度では差がおきないものと考えられる。

但し、テーパーのある場合にはセメント厚は保持力と関係し、 60μ の方が明らかに劣つた値を示す。これはテーパーのある場合の保持力は嵌合力のほかに剝離に対する抵抗力が関係するため、セメント硬化後におこる僅かな収縮がセメント層の厚い方に少しでも大きくあらわれ、合着力が弱まつているためではないかと推測される。セメントの硬化後の収縮は条件により 0.04~0.3 % と報告¹⁸⁾されている。

V 結 論

1. 歯科用セメントのせん断強さは、圧縮強さと正の相関関係 ($r=1$) を示した。

2. 金属模型を使用し、合釘のセメント合着後の引き抜き試験を行ない、その引き抜けた際の荷重を保持力として測定した。

3. 合釘長が長くなるにつれて保持力は増加する。

4. 合釘のテーパーは小さい程保持力が大となり、 $1/20$ テーパー以下になると急激に保持力が増加した。

5. セメントの厚さ 30μ と 60μ とでは、0 テーパー

の際には保持力に差がないが、テーパーがある場合は 30μ の方が大きい保持力を示した。

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜つた石原教授に深甚なる謝意を表すると共に、本研究に御助言、御協力を戴いた神沢教授をはじめとする理工学教室、又補綴学教室の諸先生方に深謝致します。

文 献

- 1) 花村典之：継続歯合釘に関する研究，第1報，合釘の撓み強さについて，補綴誌，8：145，昭和39（1964）。
- 2) A.D.A.：Guide to dental material, 1962, 1963 Chicago, 1962.
- 3) 鳥居敏雄，高橋昶正，土肥一郎：推計学，東京，昭和38，東京大学出版会。
- 4) 藤田恒太郎：歯の解剖学，東京，昭和28，金原出版。
- 5) 飛奈達也：有髄橋脚歯としての上顎中切歯形態の研究，口病誌，25：308，昭和33（1958）。
- 6) 増山元三郎：実験公式の求め方，東京，昭和32，竹内書店。
- 7) 総山孝雄：窩洞形成法，京都，昭和32，永末書店，123頁。
- 8) Kaufman, E. G., Coelho, D. H., and Colin, L.：Factors influencing the retention of cemented gold castings, J. Pros. Den., 11：487, 1961
- 9) Jorgensen, K. D.：The relationship between retention and convergence angle in cemented veneer crown, Acta odont. scand., 13：35, 1955.
- 10) Eiselin, U.：Über die Retentionsfähigkeit einiger Brückenanker, Schweiz. Mschr. Zahnheilk, 62：896, 1952.
- 11) 神沢康夫：東京医科歯科大学歯学部理工学講義録，昭和32（1957）。
- 12) 山崎健：各種補綴物における咬合力の比較に関する研究，日歯会誌，12：1，昭和35（1960）。
- 13) 石原寿郎：継続歯(1)その問題点，ことに保持力について，歯界展望，19：54，昭和37（1962）。
- 14) Bödecker, H. W. C.：Das Metalleinlage Verfahren, Berlin, 1911.
- 15) Paffenbarger, G. C., Sweeey, W. T. and Isaacs, A.：A preliminary report on the zinc phosphate cements, J.A.D.A., 20：1960, 1933.
- 16) Swartz, M.L. and Phillips, R.W.：A method of measuring the adhesive characteristics of dental cement, J.A.D.A., 50：172, 1955.
- 17) 総山孝雄，石橋真澄，北崎孝雄：即時重合レジンと燐酸セメントの合着力に関する研究，口病誌，23：101，昭和31（1956）。
- 18) Skinner, E. W.（三浦維四，他共訳）：スキナー歯科材料学，東京，昭和33，医歯薬出版，118頁